

# Mjerenja i analize na vodotocima

---

**Matokanović, Valentin**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:665974>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-01**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU FAKULTET  
ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH  
TEHNOLOGIJA**

**Stručni studij**

**MJERENJA NA VODOTOCIMA**

**Završni rad**

**Valentin Matokanović**

**Osijek, 2020.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 12.10.2020.

**Ime i prezime studenta:**

Valentin Matokanović

**Studij:**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A 4463, 17.09.2019.

**Turnitin podudaranje [%]:**

1

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Mjerenja i analize na vodotocima**

izrađen pod vodstvom mentora Mr.sc. Dražen Dorić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.  
Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 22.09.2020.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Valentin Matokanović
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	A 4463, 17.09.2019.
<b>OIB studenta:</b>	87186830340
<b>Mentor:</b>	Mr.sc. Dražen Dorić
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Dr.sc. Venco Ćorluka
<b>Član Povjerenstva 1:</b>	Mr.sc. Dražen Dorić
<b>Član Povjerenstva 2:</b>	Dr. sc. Željko Špoljarić
<b>Naslov završnog rada:</b>	Mjerenja i analize na vodotocima
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Automatizacija i robotika (zn. polje elektrotehnika)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	U svrhu ekologije kao i zaštite od štetnog djelovanja vode, vrše se različita hidrometrijska i analitička mjerenja na vodotocima. U okviru završnog rada potrebno je sagledati moderne postupke hidrometrijskih i analitičkih mjerenja na vodotocima te posebno prikazati metode mjerenja i procjene ukupnog protoka vodotoka.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	22.09.2020.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>2. HIDROMETRIJA</b> .....	2
<b>3. MJERENJE RAZINE VODE (VODOSTAJA)</b> .....	3
<b>3.1. Limnigraf s plovkom</b> .....	4
<b>3.2. Tlačni limnigraf</b> .....	6
<b>3.3. Pulsni radarski senzor</b> .....	6
<b>4. MJERENJE DUBINE VODE</b> .....	9
<b>5. MJERENJE BRZINE VODE NA VODOTOCIMA</b> .....	12
<b>5.1. Mjerilo brzine strujanja vode</b> .....	13
<b>5.2. ADCP (Akustični doplerski strujni profiler)</b> .....	15
<b>5.3. Radarski senzor brzine vode na površini</b> .....	18
<b>6. MJERENJE VOLUMNOG PROTOKA</b> .....	21
<b>6.1. Brzina-površina metoda</b> .....	22
<b>6.2. Metoda mjerenja protoka pomoću trasera</b> .....	25
<b>6.3. Mjerni objekti</b> .....	28
<b>7. MJERENJA I ANALIZE NA VODOTOCIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ</b> .....	31
<b>8. ZAKLJUČAK</b> .....	34
<b>LITERATURA</b> .....	35

## 1. UVOD

Voda je jedan od osnovnih fenomena koji su preduvjet za svaki oblik života. Ona je neophodna za civilizaciju, međutim civilizacija je također i ranjiva na probleme koje voda može donijeti. Ukoliko je prevelik protok vode u vodotocima, može doći do velikih poplava koje mogu učiniti ogromnu materijalnu štetu te odnijeti mnogo ljudskih života. Ukoliko je premali protok, vodotoci mogu presušiti što također rezultira ugrožavanjem života, kako ljudskih, tako i životinjskih i biljnih oblika života. Da bi čovjek bio korak uz korak s klimatskim i ekološkim promjenama te da bi mogao spriječiti moguće katastrofe te time umanjiti ljudske žrtve i materijalnu štetu, provode se mjerenja i analize na vodotocima.

Postoje različite veličine koje se mjere i analiziraju na vodotocima, a to su uglavnom: brzina strujanja vode, razina vode (vodostaj), dubina vode, volumni protok. Također postoji više različitih metoda za mjerenje svake od tih veličina, a svaka od metoda ima različiti način korištenja i područje djelovanja te svoje prednosti i mane.

S obzirom na današnje stanje u svijetu zbog klimatskih promjena, globalnog zatopljenja i ostalih ekoloških utjecaja, mjerenja i analize na vodotocima su postali jako zahtjevni i odgovorni zadaci.

## 2. HIDROMETRIJA

Hidrometrija je znanost koja se bavi mjerenjem i analizom vode u prirodnim vodenim resursima. Pojam hidrometrije nastao je od grčkih riječi: (hydor) 'voda' + (metron) 'mjerenje' te prva forma hidrometrije seže još iz 2000.-3000.g.pr.Kr. npr. nilometer (Slika 2.1.). Vodotoci pripadaju prirodnim vodenim resursima, tako da je hidrometrija zaslužna i za mjerenja na vodotocima. Usko je povezana s pojmom hidrologija (znanost o vodi u njenom prirodnom okruženju). Također, hidrometrija proučava te koristi razne metode mjerenja i tehnologije. Neke od veličina koje se mjere i analiziraju na vodotocima su razina vode (vodostaj), brzina vode, dubina vode i protok. Gustoća, viskoznost i ostale veličine koje se tiču kvalitete vode također pripadaju pojmu hidrometrije [2].

U mnogo slučajeva hidrometrija može biti korisna. Naprimjer, pomoću dobivenih mjerenja i podataka mogu se predvidjeti poplave u rijekama te na vrijeme upozoriti ljude i spriječiti opasne poplave. Na svakodnevnoj bazi se neprestano nadzire razina vode u vodotocima kako bi bili osigurani optimalni uvjeti protoka. Vodotoci trebaju određenu količinu protoka da bi kvaliteta vode bila dobra. Još jedan od zadataka hidrometrije je održavanje vodotoka. Treba se pobrinuti da naši prirodni vodotoci ne presuše i ne “umru”. Sve to se može spriječiti ukoliko se kvalitetno provodi ova znanost [7].



*Slika 2.1. Nilomjer na otoku Elefantina, 2000.-3000.g.pr.Kr. [7]*

### 3. MJERENJE RAZINE VODE (VODOSTAJA)

Mjerenje razine vode ili vodostaja je od velikoga značaja za vodotoke, očuvanje prirodnih staništa i životinjskih zajednica. Također je jedno od najjednostavnijih mjerenja, ali je od velikog značaja i za zaštitu ljudskih zajednica jer mjerni podaci dobiveni na temelju mjerenja razine vode mogu upozoriti na vrijeme hoće li se voda izliti iz korita i nastati poplava. Pomoću mjernih podataka razine vode, može se steći uvid u promjene okoline na vodotocima, u promjene uvjeta te donijeti neke važne odluke na temelju njih [12].

Razina vode na vodotocima predstavlja razliku između trenutno izmjerene razine vode u odnosu na kotu nule. Kota nule se najčešće određuje pomoću geodetskih mjerenja i u mjernoj jedinici metara nad morem (nadmorska visina). Mjerenje se provodi kontinuirano tijekom određenog vremenskog razdoblja. Učestalost mjerenja razine vode u Republici Hrvatskoj je dva puta u danu. Mjerenje vodostaja također je važno i za mjerenje protoka [13].

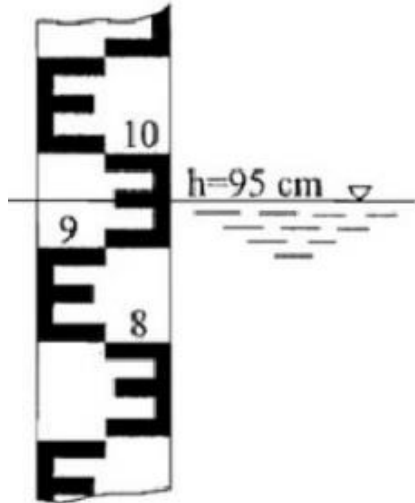
Formula za izračunavanje razine vode glasi:

$$H = Z - Z_0 \quad (3-1)$$

gdje je:      H - vodostaj [m],  
                  Z - razina vode [m.n.m],  
                  Z<sub>0</sub> - kota nule [m.n.m].

Najjednostavniji način za mjerenje vodostaja je pomoću vodomjerne letve. Sastoji se od stupa koji može biti željezni, čelični, drveni ili plastični, na kojemu su ucrtane vrijednosti. Najčešće su segmenti u razmacima od po 1 ili 2 cm (Slika 3.1.), što nam daje točnost od ±1-2 cm. Postavlja se ovisno o uvjetima na terenu vodotoka. Pravilo je da se postavlja strogo u vertikalni položaj, a ukoliko je teren kosi, postavlja se više vodomjernih letvi (Slika 3.2.) [13].





Slika 3.1. Dio vodomjerne letve [9]



Slika 3.2. Vodomjerne letve na kosom terenu [2]

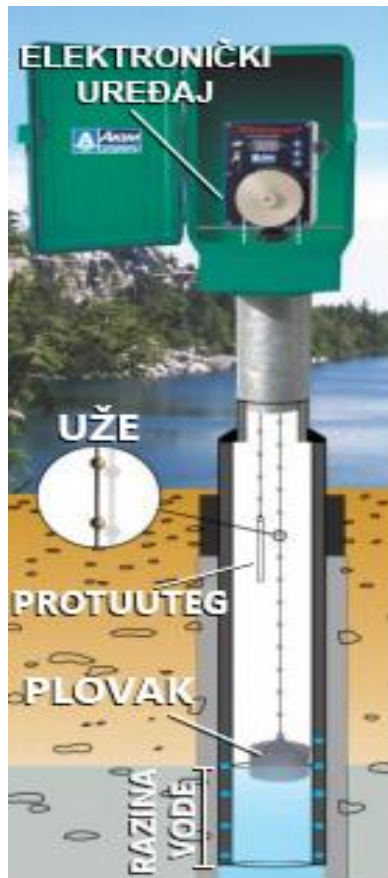
U današnje vrijeme u većini slučajeva koriste se napredniji mjerni instrumenti. Limnigraf ili automatski registrator razine vode je jedan od uređaja koji je u današnje vrijeme sve više digitalan. Pomoću njega se može kontinuirano pratiti razina vode u realnom vremenu. Najčešće se koristi kod niskih i srednjih razina vode [13].

Postoji nekoliko vrsta mjernih instrumenata:

- limnigraf s plovkom
- tlačni limnigraf
- pulsni radarski senzor

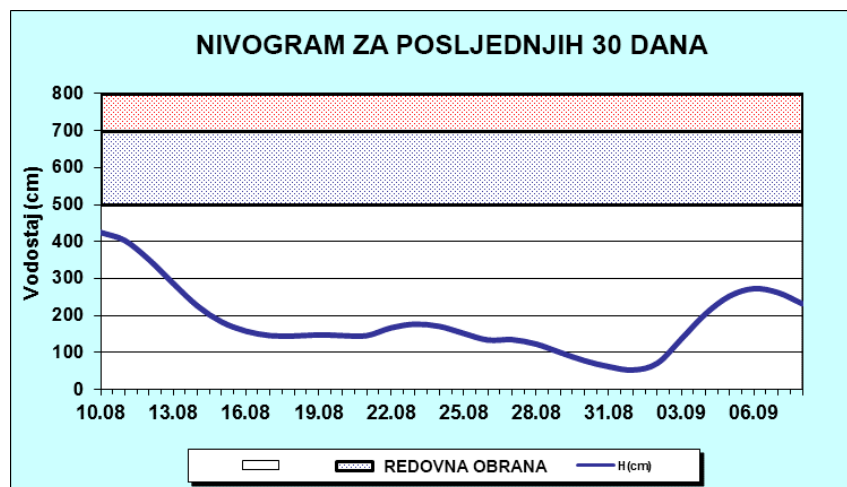
### 3.1. Limnigraf s plovkom

Funkcionira na principu sustava koloture preko kojeg je plovak vezan čeličnim užetom na jednom kraju, a na drugom kraju je protuuteg (Slika 3.1.1.). Okomito pomjeranje plovka zapisuje se tj. prenosi na papir ili bušenu traku, a u novije vrijeme se digitaliziraju tj. prenose u digitalni oblik. Može sadržavati elektronički uređaj s kojeg se mogu čitati mjerni podaci koji se čuvaju u memoriji instrumenta, npr. memorijska kartica. Također mogu biti i telekomunikacijski povezani pa se podaci mogu slati i na daljinu u centralu [14].



Slika 3.1.1. Princip rada i dijelovi elektroničkog limnigrafa s plovkom [14]

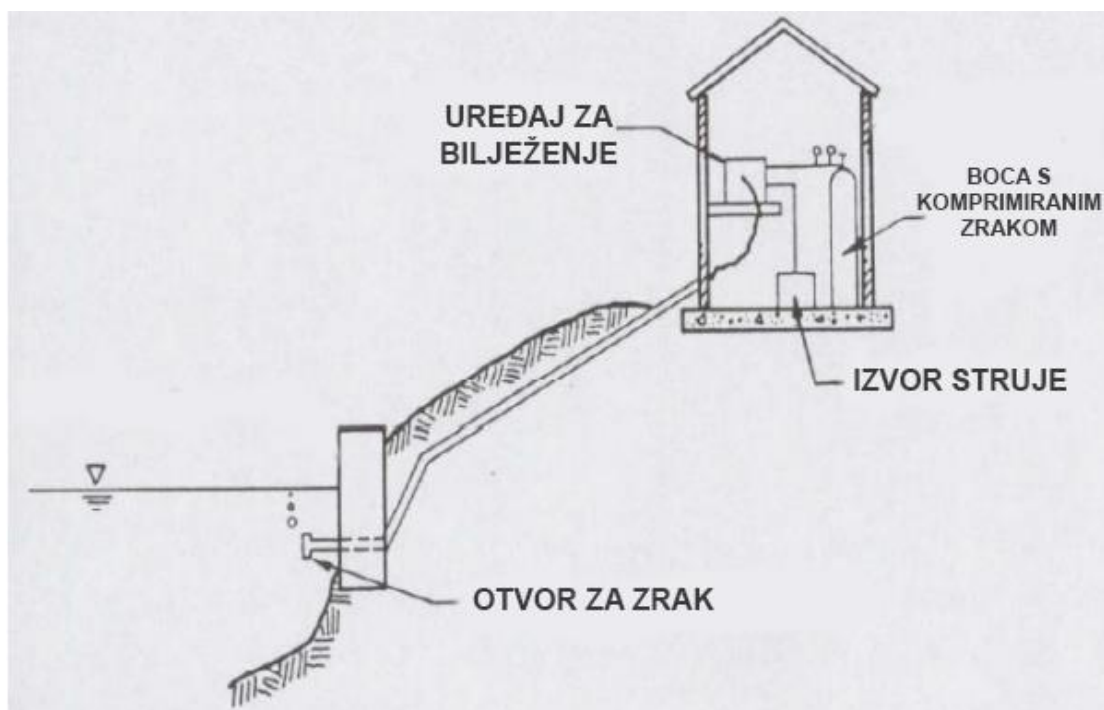
Rezultat mjerenja koji se prenosi na papir, bušenu traku ili u digitalni oblik zove se nivogram (Slika 3.1.2.). To je graf koji prikazuje ovisnost vodostaja (cm) u određenom vremenskom periodu [14].



Slika 3.1.2. Nivogram za period od 30 dana [12]

### 3.2. Tlačni limnigraf

Kod tlačnog limnigrafa razina vode mjeri se na temelju ispuštanja plina (komprimiranog zraka ili dušika) iz boce. Preko reduktora pritiska se komprimirani zrak iz te boce potiskuje u cijev potopljenu u vodi (Slika 3.2.1.). Iz cijevi izlazi zrak u obliku mjehura. Pretvarač mjeri samo statički tlak u cijevi pomoću kojeg se može izračunati hidrostatski stupac iznad ispusta. Također se podaci zapisuju na papirnatnoj traci tako što metalni manometar pritisak pretvara u silu, a sila djeluje na polugu s kliznim utegom. Najčešće se koristi na mjestima gdje je teško ili neizvedivo postaviti klasični limnigraf [41].

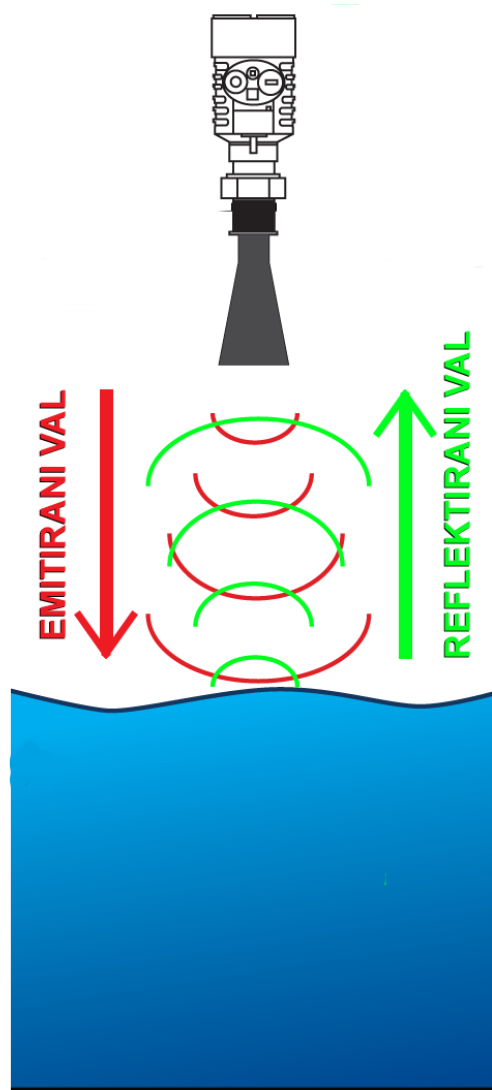


Slika 3.2.1. Princip rada i dijelovi tlačnog limnigrafa [41]

### 3.3. Pulsni radarski senzor

Kod ove vrste mjernih instrumenata, kao što i njihovo ime govori, razina vode se mjeri pomoću senzora. Mogu se koristiti različiti senzori kao što su: piezo-sonda, ultrazvučni, pulsni itd. Mnogi ovakvi mjerni instrumenti imaju ugrađene i antene za slanje podataka te su napredniji i jednostavniji od drugih vrsta. Jedan od onih koji se najčešće koriste je pulsni radarski senzor [16, 17].

Funkcionira na tzv. Time of Flight principu (Slika 3.3.1.). Jedna antena emitira val prema površini vode, koji se zatim reflektira prema drugoj anteni koja prima val. Na temelju vremena putovanja vala i pomoću udaljenosti između senzora i površine vode, može se izmjeriti razina vode jer su direktno ovisni jedni o drugima. Vrijeme koje je potrebno valu da se emitira i reflektira natrag je proporcionalno udaljenosti između površine vode i senzora, što znači izmjereno vrijeme je udaljenost [16].



Slika 3.3.1. Princip rada radarskog senzora [16]

Svaki od ovih senzora ima ugrađenu jedinicu za obradu digitalnih signala i izračun mjernih podataka. Proizvode se za beskontaktno mjerenje razine vode. On pruža visoku preciznost uz veliki domet koji može biti čak i do 70m. Uz senzor, u sustav je ugrađeno i mikroročunalo sa zaslonom koje pruža komunikaciju na daljinu putem antene. Može se postaviti na mostove ili na stupove iznad vodotoka i lako se montira [4].

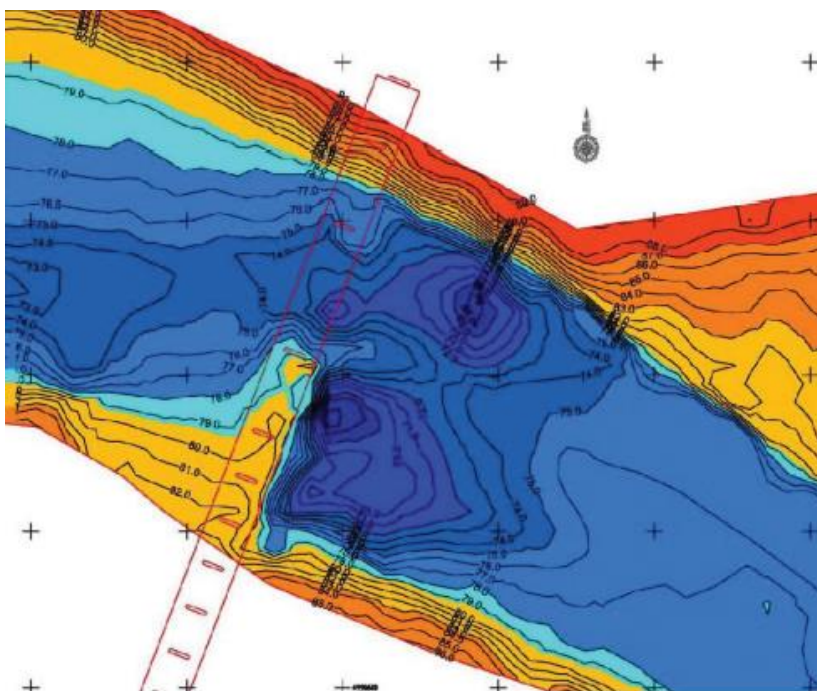


*Slika 3.3.2. Pulsni radarski senzor Sitrans-LR250 od proizvođača Siemens [4]*

## 4. MJERENJE DUBINE VODE

Dubina vode  $h$  predstavlja vertikalnu udaljenost između trenutne razine vode i kote dna. Mjerenjem dubine vode određuje se profil korita (reljef dna) ispod površine vodotoka. Rezultati mjerenja su nacrti korita s izohipsama ili izobatama te uzdužni i poprečni presjeci. Mjerenje dubine vode najčešće se provodi tijekom vremena kada su vodostaji niski jer je tada mjerenje najtočnije.

Znanost koja se bavi mjerenjem i analiziranjem dubina u vodotocima zove se batimetrija. Batimetrijom se mogu izraditi batimetrijske karte na kojima se može odrediti profil dna s pomoću izobata. Rezultati batimetrije mogu se prikazati u 2D (Slika 4.1.), 3D ili kartografskim prikazom. Dubina na batimetrijskim kartama najčešće je prikazana u nijansama plave boje na način da je tamnija plava dublje, a svjetlija pliće [29].



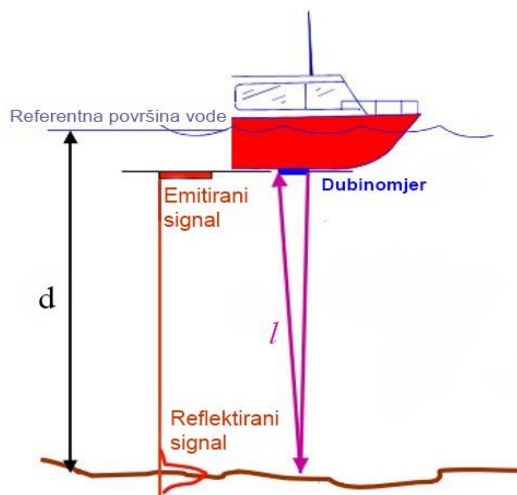
Slika 4.1. Batimetrijska 2D karta rijeke Save [29]

U današnje vrijeme batimetrijska mjerenja se provode ultrazvučnim dubinomjerima. Postoje dubinomjeri s jednom zrakom (*single-beam*) i višesnopni ultrazvučni dubinomjeri (*multi-beam*). Najčešće se postavljaju na čamac ili brod. Funkcioniraju na principu ultrazvučnih valova tako da se mjeri vrijeme putovanja ultrazvučnog vala koji se emitira iz dubinomjera koji je uronjen nešto ispod površine vode te reflektiranjem vala natrag u prijammnik (Slika 4.2.) [42].

Dubina tj. prijeđeni put ultrazvučnog vala računa se izrazom:

$$l = \frac{t}{2} \cdot v \quad (4-1)$$

gdje je:  $l$  – prijeđeni put vala [m],  
 $t$  – vrijeme [s],  
 $v$  – brzina zvuka u vodi [m/s].

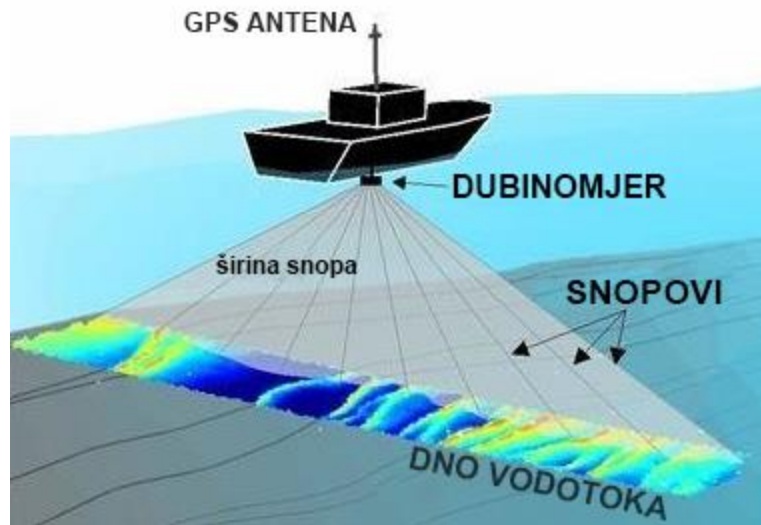


Slika 4.2. Princip rada dubinomjera [29]

U praksi, ultrazvučni val će se reflektirati od bilo čega što može biti na putu vala npr. ribe, vegetacija, krhotine itd. Napredniji i moderniji dubinomjeri su u mogućnosti razlikovati te prepreke od dna, što nam daje izrazito veliku preciznost.

Dubinomjer s jednom zrakom (*single-beam*) koristi se za uže vodotoke i manje zahtjevne radove. Kao rezultati mjerenja dobivaju se pojedinačne dubine koje u nizu daju profil vodotoka.

Višesnopni dubinomjeri (*multi-beam*) (Slika 4.3.) su danas češći u upotrebi jer pružaju točnije i brže informacije te mogu doseći točnost i do 100%. Takvi dubinomjeri koriste snop od nekoliko stotina akustičnih zraka, obično oko 400-500 zraka koje se vodom šire u obliku lepeze. Svaka zraka je širine do nekoliko stupnjeva ( $2^\circ$ - $4^\circ$ ) okomito na smjer putanje vozila. Rezultati su batimetrijske karte korita velike rezolucije. Širina snopa zraka može biti do nekoliko desetaka metara, ovisno o dubini vode. Ovakvim dubinomjerima se može pokriti puno veća površina dna, a može se i bilježiti kontinuirano u realnom vremenu. Često sadrže i GPS-RTK sustav za pružanje informacija o pozicioniranju [43].



Slika 4.3. Princip rada multi-beam dubinomjera [29]



## 5. MJERENJE BRZINE VODE NA VODOTOCIMA

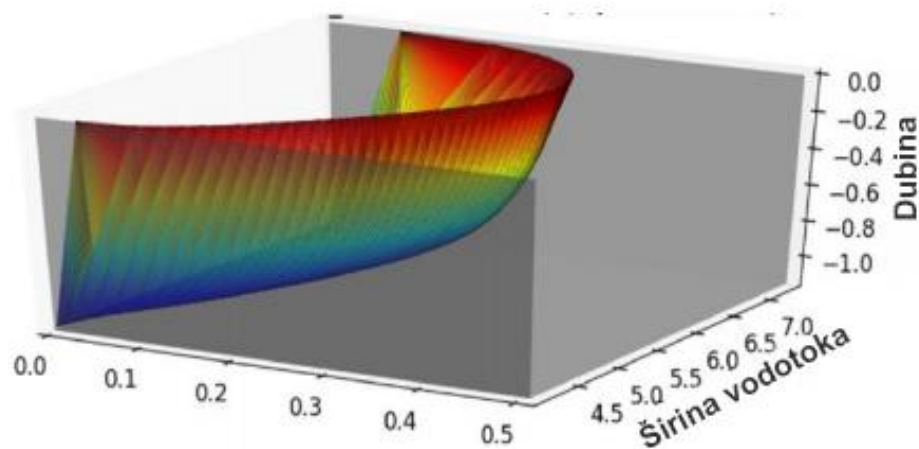
Brzina vode, kao i općenito brzina nekog tijela može se odrediti derivacijom prijeđenog puta u određenom vremenu:

$$v = \frac{ds}{dt} \quad (5-1)$$

gdje je:  $v$  - brzina [m/s],  
 $s$  - prijeđeni put [m],  
 $t$  - proteklo vrijeme [s].

Brzina vode u vodotocima nije konstantna s obzirom na dubinu vode i teče turbulentno. Na dubljim vodotocima npr. rijeke, brzina je veća, dok je na plićim vodotocima npr. potoku, manja zbog toga što ima više kontakta s površinom dna i veće je trenje. Uzimajući u obzir približno simetrični profil vodotoka, voda najbrže teče u sredini blizu površine vode (Slika 5.1.). Povećava se od najniže vrijednosti na dnu vodotoka pa do maksimalne vrijednosti pri površini vode [19].

Postoje razni instrumenti za mjerenje brzine tečenja vode, a to su: mjerilo brzine vodene struje, ADCP i radarsko mjerilo brzine vode na površini.



Slika 5.1. Ovisnost brzine vode s obzirom na dubinu i širinu vodotoka [5]



Slika 5.2. Profili brzine vode na vodotoku [5]

## 5.1. Mjerilo brzine strujanja vode

Mjerilo brzine strujanja vode (engl. *current meter*) je još uvijek najčešće korišteni instrument za mjerenje brzine vode. To su vrlo precizni instrumenti koji mjere brzinu u jednoj točki. Koriste se kod mjerenja brzine vode na predodređenim točkama (odjeljcima) duž vodotoka. Obično se vodotok podijeli na 25 do 30 odjeljaka te mjerenje brzine u tim odjeljcima omogućuje izračun protoka [30].

Postoje dvije vrste ovakvih mjerila, a to su: mehanička mjerila i elektromagnetska mjerila brzine strujanja vode.

Princip mjerenja kod mehaničkih mjerila (Slika 5.1.1.) temelji se na proporcionalnosti između brzine strujanja vode i rezultirajuće kutne brzine propelera (brzine vrtnje propelera). Postavljanjem mehaničkog mjerila na šipku, brzina strujanja u točki određena je brojem okretaja propelera u određenom vremenskom periodu te izračunom brzine vode pomoću jednadžbe mjerila tj. kalibracijske formule koja glasi:

$$v = k \cdot n + C \quad (5-2)$$

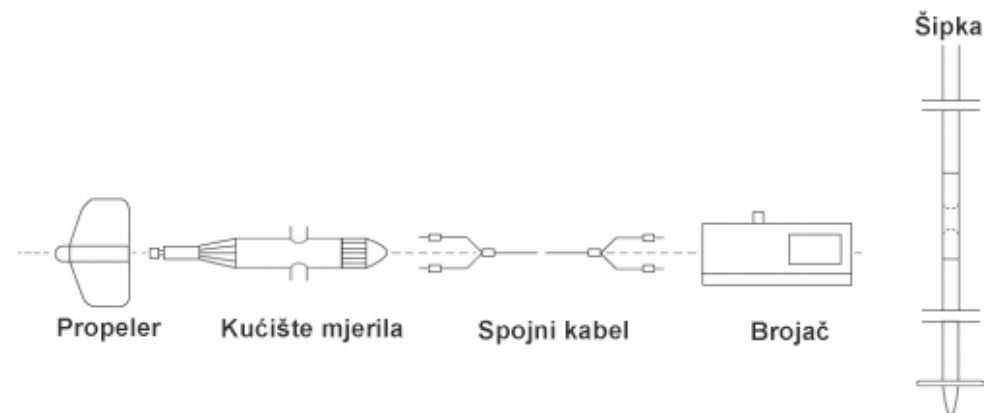
gdje je:  $v$  - brzina strujanja vode [m/s],

$k$  - hidraulički nagib propelera koji se određuje testiranjem na mjestu mjerenja,

$n$  - rotacija propelera po sekundi [1/s],

$C$  – konstanta mjerila [m/s] koja se također određuje testiranjem na mjestu mjerenja.

Tok rijeke uzrokuje rotaciju propelera mjerila. Magnet koji je pričvršćen za propeler šalje signal (impuls), jedan po okretaju. Broj impulsa (okretaja propelera) je proporcionalan brzini vode u toj točki mjerenja. Što je veći broj okretaja propelera u određenom vremenu, veća je i brzina vode [30].



Slika 5.1.1. Princip rada i dijelovi mjerila brzine strujanja vode [31]

Ovakav mjerac može se izvesti na dva načina, no u oba načina mora postojati rotacijski element. Prva verzija je mjerilo preko okomite osi, poznato i kao mjerilo s čašicama (Slika 5.1.2.). Sastoji se od nekoliko metalnih čašica, najčešće 6, koje se rotiraju oko okomite osi. Čašice su postavljene pod kutevima jednakog razmaka. Izrađene su od nehrđajućeg čelika, mesinga ili bronce. Nedostatak je što se mogu koristiti samo kod sporijih brzina naspram propelera, no otpornije su na oštećenje nego propeleri [30].

Druga verzija je mjerilo preko horizontalne osi, poznato i kao mjerilo s propelerom (Slika 5.1.2.). Obično se koristi set propelera da se mogu pokriti različiti rasponi brzina. Propeleri se izrađuju od nehrđajućeg čelika ili plastike te manje ometaju protok vode nego čašice [30].

Pri korištenju u plitkim vodama ovakva mjerila postavljaju se na šipku, a pri korištenju u dubljim vodama postavlja se iznad vode na sustav koloture tako da se može spuštati na veću dubinu.

Elektromagnetska mjerila (Slika 5.1.2.) strujanja brzine vode funkcioniraju na principu Faradayevog zakona o elektromagnetskoj indukciji. Prema ovom zakonu, vodič (voda) koji prolazi kroz magnetsko polje proizvodi napon koji je linearno proporcionalan brzini strujanja vode. Kao i kod mehaničkih, senzor pomoću kojeg se dobivaju rezultati, postavlja se na metalnu šipku. Prednost elektromagnetskih mjerila je ta što ima direktno analogno isčitavanje brzine, stoga mjerenje okretaja nije potrebno.

Međutim, elektromagnetska mjerila su još uvijek manje pouzdana nego mehanička, iako su u zadnjih nekoliko godina dosta napredovala. Njihovo korištenje blizu metalnih objekata je ograničeno [30].



Slika 5.1.2. Vrste mjerila brzine strujanja vode (s čašicama, s propelerima, elektromagnetsko) [31]

## 5.2. ADCP (Akustični doplerski strujni profiler)

Dopplerov efekt je fenomen promjene promatrane zvučne frekvencije koja proizlazi iz relativnog gibanja izvora zvuka. Dopplerov pomak je razlika između frekvencije koju promatrač čuje kada mirno stoji i koju promatrač kada se kreće. Uobičajeni primjer Dopplerova pomaka je promjena frekvencije koju promatrač čuje kada vlak dolazi prema njemu naspram one koju čuje kada odlazi od njega (Slika 5.2.1.). Primljena frekvencija je viša kada vlak prilazi, kao i u trenutku prolaska, a niža kada se vlak odmiče [34].



Slika 5.2.1. Primjer dopplerovog pomaka na prolasku vlaka [32]

ADCP (engl. *Acoustic Doppler Current Profiler*) koristi Dopplerov efekt za određivanje brzine vode. Funkcionira tako da šalje zvučne impulse konstantne frekvencije kroz vodu (impulsi su toliko visoke frekvencije da ih ljudi, pa čak i dupini ne mogu čuti). Kako zvučni impulsi putuju, odbijaju se od čestice koje se nalaze u vodi koja teče i reflektiraju natrag u instrument. Zbog Dopplerovog efekta, zvučni impulsi koji su reflektirani od čestica koje se odmiču dalje od instrumenta imaju nižu frekvenciju, a čestice koje se kreću prema instrumentu vraćaju valove veće frekvencije. Razlika u frekvenciji između impulsa koje instrument šalje i koje prima je upravo Dopplerov pomak, stoga za računanje brzine vode vrijedi formula [34]:

$$V = \frac{CF_D}{2F_S} \quad (5-3)$$

gdje je:  $V$  – brzina vode paralelna akustičnoj putanji [m/s],

$C$  – brzina zvuka u vodi [m/s],

$F_D$  – razlika u frekvenciji zbog Dopplerovog pomaka ( $F_B - F_S$ ) [Hz],

$F_S$  – frekvencija emitiranog vala te  $F_B$  – frekvencija povratnog vala [Hz].

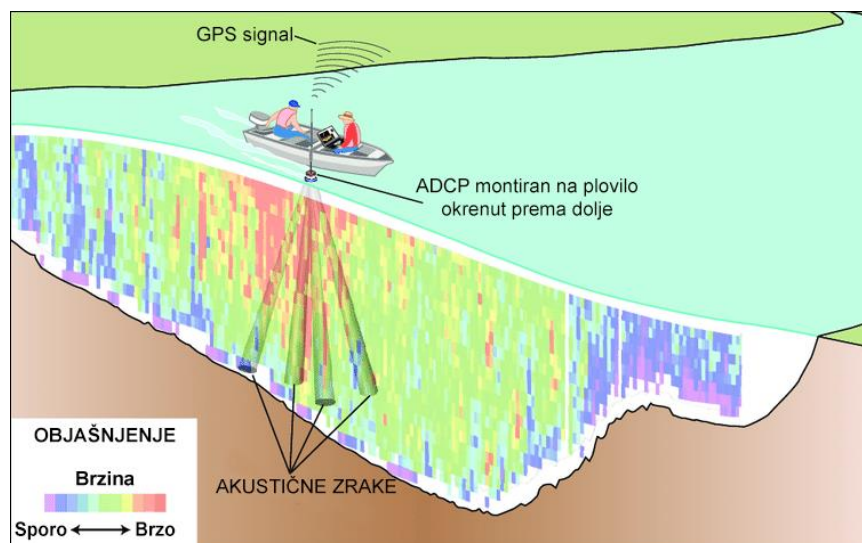
Zvučnim impulsima koji se sudare sa česticama na većoj udaljenosti od instrumenta potrebno je duže da se vrate. Mjerenjem vremena koje je potrebno impulsima da se vrate i pomoću Dopplerovog pomaka, instrument može izračunati brzinu vode na različitim dubinama [34].

ADCP (Slika 5.2.2.) sadrži piezoelektrične pretvarače koji emitiraju i primaju zvučne signale. Uz to što mjeri promjenu frekvencije i određuje brzinu vode, može ujedno mjeriti i dubinu vode jer vrijeme putovanja zvučnih valova daje udaljenost. Mogu imati nekoliko piezoelektričnih pretvarača, no kod vodotoka se obično koristi onaj s četiri pretvarača. Ostale komponente ovog instrumenta su električno pojačalo, prijemnik, sat koji mjeri vrijeme putovanja, senzor temperature, kompas ili GPS za orijentaciju. Analogno-digitalni pretvarač i procesor digitalnih signala su potrebni da uzorkuju signal kako bi odredili Dopplerov pomak [34].



Slika 5.2.2. ADCP instrument [34]

Da bi se provela mjerenja, ADCP je montiran na brod ili na mali splav tako da su akustične zrake usmjerene prema dnu s površine vode (Slika 5.2.3.). Postoji i varijanta kada se postavlja na dno vodotoka pričvršćen sidrom, ali se rijetko koristi. Kada je ADCP instrument montiran na plovilo, plovilo se kreće po cijeloj širini vodotoka kako bi se uzela mjerenja brzine i dubine. Zbog toga većina ovakvih instrumenata ima ugrađen GPS sustav da se može pratiti kretanje instrumenta preko vodotoka i pružiti mjerni podaci po cijeloj širini. Po tome su napredniji od mehaničkih mjerila strujanja vode koji mogu mjeriti brzinu samo u jednoj točki. Korištenjem ovog mjernog instrumenta znatno se smanjuje vrijeme mjerenja brzine vode, pa tako i mjerenja protoka jer on ovisi o brzini [32].



Slika 5.2.3. Objasnjenje metode mjerenja brzine vode ADCP-om [32]

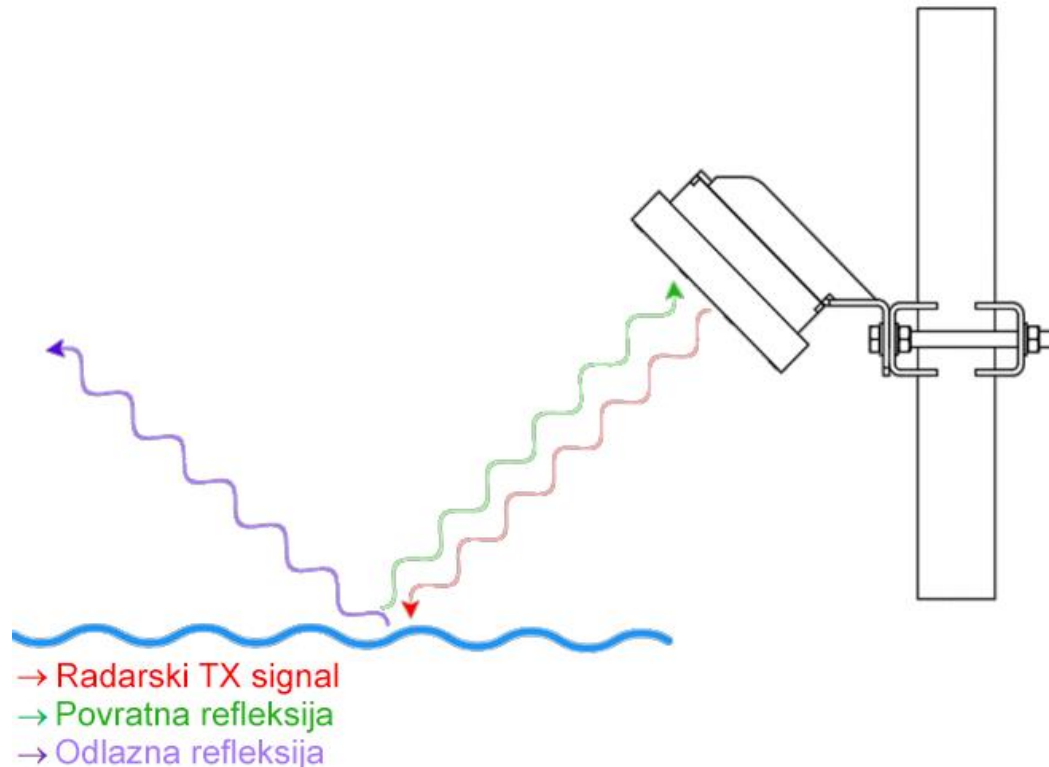
U prošlosti, više različitih instrumenata je bilo potrebno za mjerenje dubina i brzina, no ADCP rješava taj problem. Može mjeriti brzine struje jako malih raspona, kao i dubine vodenog stupca čak do 1000 m. Za razliku od prijašnjih tehnologija, ADCP mjeri apsolutnu brzinu vode, a ne samo kojom se brzinom jedna vodena masa kreće u odnosu na drugu [34].

No kao i svaki instrument, postoje i određeni nedostaci. Impulsi visoke frekvencije pružaju preciznije podatke, ali impulsi niske frekvencije mogu putovati dublje u vodu, pa znanstvenici moraju napraviti kompromis između udaljenosti koju instrument može mjeriti i preciznosti mjerenja. Problem može biti i ako je voda previše čista jer impulsi možda neće pogoditi dovoljno čestica da pruže točne podatke [34].

### **5.3. Radarski senzor brzine vode na površini**

Radarski senzori brzine vode su jednostavni, beskontaktni i kompaktni senzori za mjerenje brzine vode na površini. Izrađeni su za mjerenje u otvorenim kanalima i rijekama gdje su potrebni kontinuirani pouzdani mjerni podaci, tijekom poplava ili visokih koncentracija taloga (naslaga). Kao što i samo ime govori, koriste radarsku tehnologiju za mjerenje. Primjena radarske tehnologije rezultira vrlo preciznim mjernim podacima jer na mjerenja ne utječu vanjski faktori kao što su temperatura, vlažnost ili gustoća vode [33].

Brzina vode na površini se mjeri emitiranjem radio valova prema površini vode pod određenim kutem. Površina u otvorenim vodotocima nikada nije savršeno ravna, pa čak i minijturni valovi koji se pojavljuju na površini reflektiraju radio valove natrag u senzor. Kao i kod ADCP-a, frekvencija reflektiranih valova je promijenjena zbog Dopplerovog efekta te napredni prijamnik u instrumentu može izmjeriti veoma sitne promjene u frekvenciji. Promjena u frekvenciji se direktno pretvara u brzinu površine vode. Važno je napomenuti da se kod ovih instrumenata većina energije radio valova odbija dalje od senzora, a mala količina energije se reflektira natrag u senzor (Slika 5.3.1.). Ta mala količina reflektiranih radio valova je upravo ta koja mjeri brzinu na površini vode [33].

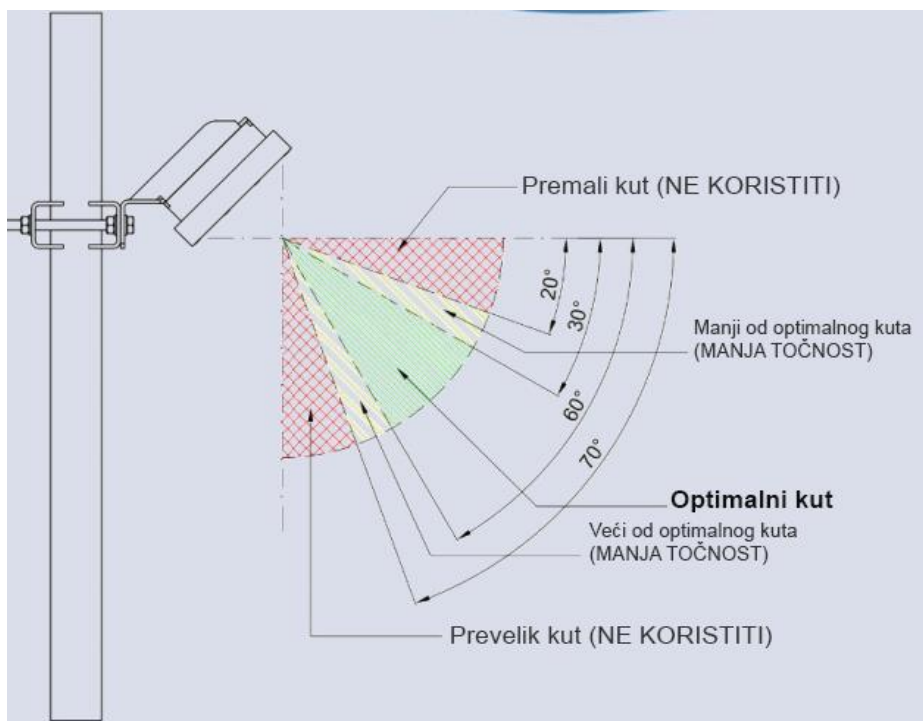


Slika 5.3.1. Princip rada radarskog senzora brzine vode na površini [4]

Ovakvi senzori obično se montiraju fiksno iznad površine vode na već postojećim mostovima ili infrastrukturama, nije potrebna nikakva specijalna konstrukcija. Ne preporuča se ugrađivati ih na mjestima gdje problem mogu biti vibracije koje utječu na nosač. Također treba izbjegavati krivudava mjesta na vodotocima, a poželjno je da se odabere mjesto s “grubom” vodenom površinom [4].

Da bi dobili potrebnu točnost, važno je ispravno odabrati mjesto mjerenja i ugraditi senzor pod određenim kutem nagiba (Slika 5.3.2.). Kut nagiba prema horizontalnoj osi bi trebao biti između  $30^\circ$  i  $60^\circ$  te se preporuča da ne prelazi  $45^\circ$ . Instrument bi trebao biti orijentiran paralelno s tokom vode. Za optimalan rad i najbolje rezultate, instrument treba biti usmjeren uzvodno, tako da voda teče prema instrumentu [33].





Slika 5.3.2. Ovisnost performansi instrumenta s obzirom na kut nagiba [4]

U skladu s današnjom tehnologijom, instrument je opremljen tako da se može mjeriti na daljinu te pratiti stanje u stvarnom vremenu 24/7. Također proizvođači nastoje izrađivati ih tako da troše sto manje energije, a postoje varijante i s ugrađenim solarnim pločama. Proizvode se tako da ih ne treba puno održavati. Kada se jednom pravilno ugradi, može dugi niz godina funkcionirati bez grešaka [33].

## 6. MJERENJE VOLUMNOG PROTOKA

Volumni protok vode u općenitom smislu predstavlja količinu vode koja teče kroz poprečni presjek vodotoka u jedinici vremena:

$$Q = v \cdot A \quad (6-1)$$

gdje je:  $Q$  - volumni protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$v$  - prosječna brzina vode [ $\text{m/s}$ ],

$A$  - površina poprečnog presjeka [ $\text{m}^2$ ].

Protok u vodotocima vrlo je važan jer ima utjecaj na kvalitetu vode te na žive organizme i staništa na vodi i u vodi, a također je važan za izvršavanje projektantskih i infrastrukturnih radova na vodotocima. Veliki brzotekući vodotoci poput rijeka mogu ublažiti utjecaj polucije jer mogu razrijediti polucije zbog velikog protoka, dok mali vodotoci poput potoka imaju manji kapacitet za razrjeđivanje i razgradnju otpada. Na protok utječu vremenske prilike, povećavajući ga tijekom velikih padalina, a smanjujući ga tijekom suše. Također se može mijenjati tijekom različitih godišnjih doba [23].

Protok u vodotocima je općenito manje strukturiran i više kompliciran nego u zatvorenim sustavima. Jednadžbe koje se koriste za izračunavanje protoka su znatno kompliciranije u vodotocima, pa su nesigurnosti u mjerenjima mnogo veće nego u zatvorenim sustavima. Također u vodotocima postoji određeni stupanj sedimentacije, pa i to utječe na protok [22].

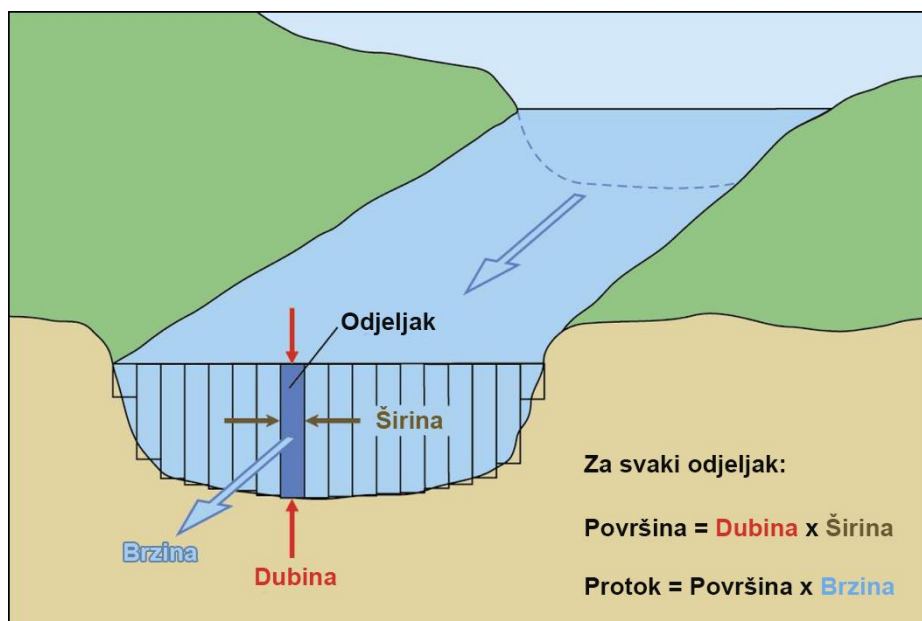
Protok u vodotocima najčešće se mjeri posrednim metodama, a osnovne metode mjerenja protoka su: površina-brzina metoda, metoda pomoću trasera te mjerni objekti (žlijebovi i preljevi) [1].

## 6.1. Brzina-površina metoda

Najpraktičnija i najčešće korištena metoda mjerenja protoka u vodotocima je brzina-površina metoda. To je posredna metoda mjerenja protoka jer se pomoću mjerenja drugih veličina izračunava protok, a računa se produktom površine i brzine. Mjerenje se izvršava dijeljenjem presjeka vodotoka na manje dijelove tj. segmente (ponekad se i nazivaju profili, odjeljci, vertikale itd.) i mjerenjem površine i brzine u svakom segmentu (Slika 6.1.1.). Ukupni protok je zbroj produkata površina segmenata i njihove prosječne brzine [25]:

$$Q = \sum_{i=1}^n a_i v_i \quad (6-2)$$

gdje je: Q - ukupni protok [m<sup>3</sup>/s],  
n - broj odjeljaka  
a<sub>i</sub> - površina pojedinog odjeljka [m<sup>2</sup>/s]  
v<sub>i</sub> - brzina pojedinog odjeljka [m/s].

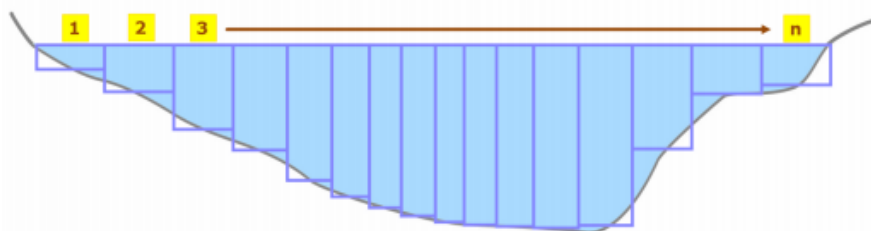


Slika 6.1.1. Poprečni presjek s rasporedom vertikala [25]

Mjerenja pomoću ove metode najčešće se provode s mjeračima strujanja vode ili ADCP-ovima, koji su opisani u poglavlju za mjerenje brzine vode. To su vrlo osjetljivi uređaji kada su u iskusnim rukama. Na jako važnim vodotocima, specijalna mjerna oprema je postavljena za dugotrajno praćenje. Pod ostalu opremu ubrajamo: kablovske stanice, trajektne kabele i mjerne brodove za vodotoke koji su većih širina [25].

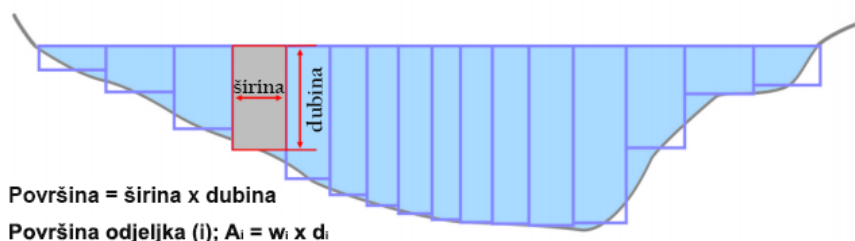
Određivanje poprečnog presjeka vodotoka, prosječne brzine strujanja vode i izračun protoka izvode se u sljedećim koracima:

KORAK 1. (Slika 6.1.2.): poprečni presjek vodotoka dijeli se na manje odjeljke, koji se ponekad nazivaju i segmenti ili podpovršine. Obično se vodotoci moraju podijeliti na 20 ili 30 odjeljaka da bi se adekvatno mogao oblikovati poprečni presjek [25].



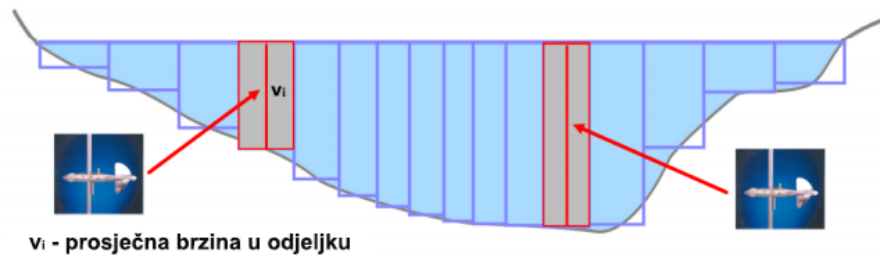
Slika 6.1.2. Podjela poprečnog presjeka vodotoka na manje odjeljke (segmente) [25]

KORAK 2. (Slika 6.1.3.): površina svakog odjeljka se određuje direktno mjerenjem njegove širine i dubine. Kod mjerenja mjerilom brzine strujanja vode, dubine se mjere koristeći oznake na šipki na kojoj se nalazi instrument, a širina se mjeri običnom mjernom vrpcom koja se proteže po širini vodotoka [25].



Slika 6.1.3. Određivanje površine odjeljaka [25]

KORAK 3. (Slika 6.1.4.): brzina u svakom odjeljku određena je korištenjem pripadnih metoda i instrumenata, već spomenutih mjerila brzine strujanja vode i ADCP-ova [25].



Slika 6.1.4. Određivanje prosječnih brzina po odjeljcima [25]

KORAK 4. (Slika 6.1.5.): protok svakog odjeljka računa se množenjem površina odjeljaka ( $A_i$ ) s prosječnim brzinama svakog odjeljka ( $v_i$ ) [25].

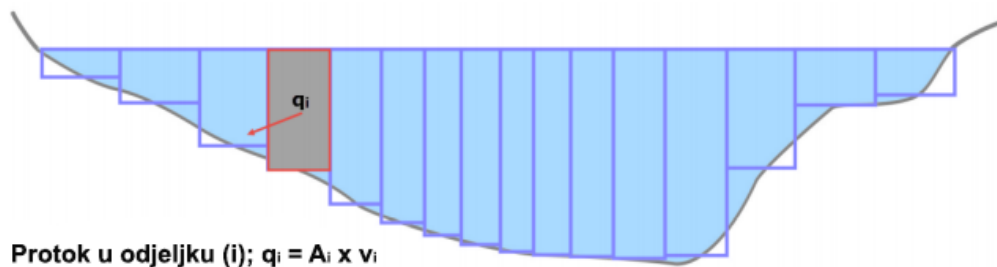
$$q_i = v_i \cdot A_i \quad (6-3)$$

gdje je:

$q_i$  – protok odjeljka [ $m^3/s$ ],

$v_i$  – prosječna brzina odjeljka [ $m/s$ ],

$A_i$  – površina poprečnog presjeka odjeljka [ $m^2/s$ ].



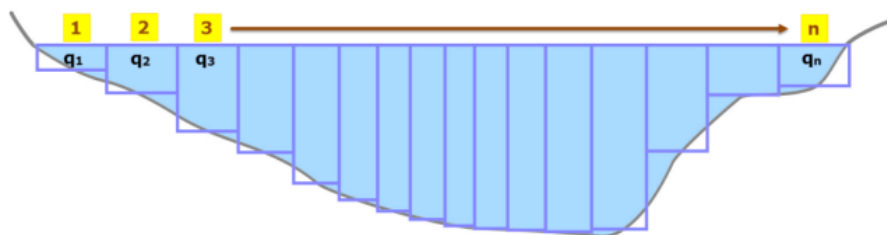
Slika 6.1.5. Izračunavanje protoka za svaki pojedini odjeljak [25]

KORAK 5. (Slika 6.1.6.): Ukupni protok rijeke (protok poprečnog presjeka) se onda dobija zbrajanjem protoka svakog odjeljka, stoga će ukupni prosjek biti [25]:

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n \quad (6-4)$$

gdje je:  $Q$  – ukupni protok vodotoka kroz poprečni presjek [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$q_1, q_2, \dots, q_n$  – protok pojedinih odjeljaka [ $\text{m}^3/\text{s}$ ].



Slika 6.1.6. Izračunavanje ukupnog protoka vodotoka [25]

Problem kod ove metode mjerenja može nastati ukoliko nepravilno odredimo položaje točaka na vertikali u kojima se mjeri brzina te ukoliko se odabere krivi tih vertikala. Također, mjerenje protoka u vodotocima nikada nije u potpunosti točno zbog više razloga, a to su: nestacionaran tok vode, vrtložno strujanje vode, pogreška mjernog uređaja itd [25].

## 6.2. Metoda mjerenja protoka pomoću trasera

Ova metoda je također često korištena u mjerenju protoka na vodotocima. Temelji se na dodavanju trasera (također poznat i kao marker, obilježivač, tragač) na poznatom položaju u vodotoku te opažanju nadolaska trasera na nekom drugom položaju nizvodno na vodotoku. Traser ili marker može biti bilo koja vrsta tvari, a da ne zagađuje vodu. Neke od tvari koje mogu biti traseri su određene vrste soli i fluorescentne boje. Metoda pomoću tragača također se uspješno izvodi na teškim terenima, gdje ima turbulentnog strujanja vode, velikih brzina, bujičnih tokova itd. [35].

Postoje dvije osnovne tehnike kada se radi o ovoj metodi, a to su: traser-brzina-površina metoda i metoda razrjeđivanja koja se bazira na koncentraciji trasera.

Traser-brzina-površina metoda se temelji na dodavanju trasera (najčešće soli) na jednom položaju vodotoka te mjerenju proteklog vremena na drugom položaju. Brzina kretanja vode označene traserom je direktno mjerenje prosječne brzine strujanja vode. Uspješno se koristi kod vodotoka na dijelovima vodotoka gdje je konstantni presjek, stoga je potrebno određivanje poprečnog presjeka vodotoka na

mjestu mjerenja. Da bi se odredio poprečni presjek, koriste se već spomenuti dubinomjeri, mjerila brzine vodenog strujanja ili ADCP uređaji [37].

Ova metoda iskorištava činjenicu da sol povećava električnu vodljivost vode. No mora se dodati dovoljna količina soli da se značajno poveća električna vodljivost vode kako bi mjerenja bila precizna. Da bi se odredila brzina potrebna za izračun, par elektroda je ugrađen na poprečnom profilu na oba kraja mjerene duljine kanala. Udaljenost između parova elektroda treba biti dovoljna da osigura precizna mjerenja vremena putovanja između njih. Elektrode su pod naponom i povezane na centralni instrument koji bilježi električnu vodljivost kod svakog para elektrodi uzimajući u obzir i vrijeme (Slika 6.2.1.). Jednadžba prema kojoj se računa protok u ovoj metodi je [36]:

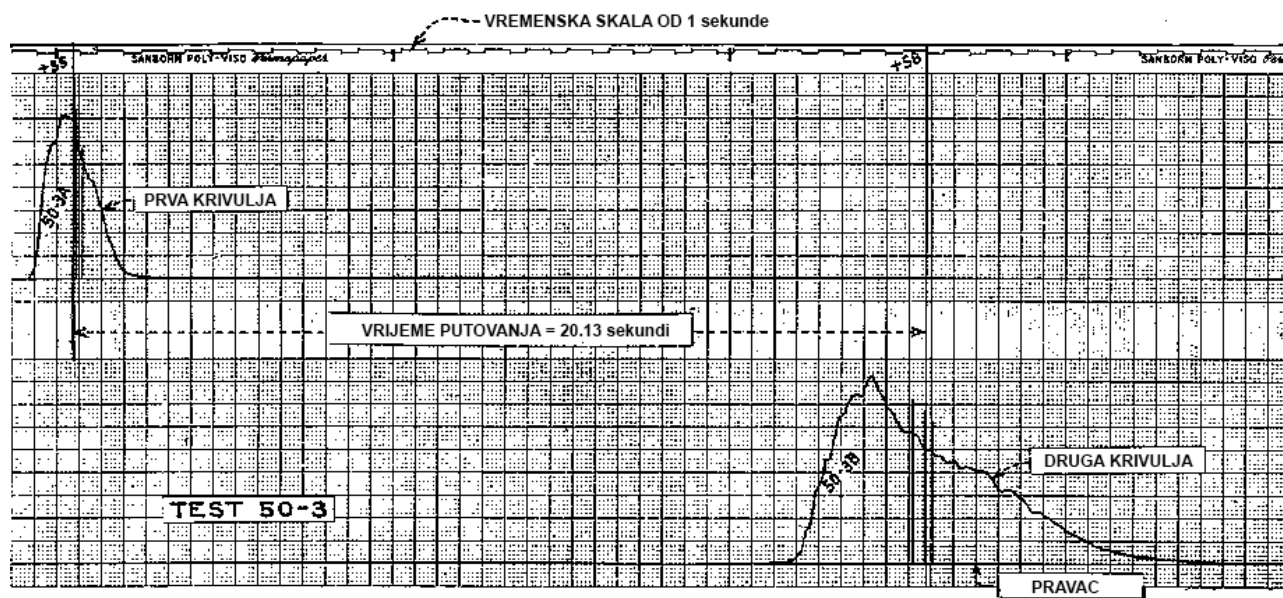
$$Q = \frac{A \cdot L}{T} \quad (6-5)$$

gdje je:  $Q$  - protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$A$  - prosječna površina poprečnog presjeka duž vodotoka [ $\text{m}^2$ ],

$L$  - udaljenost između parova elektroda [ $\text{m}$ ],

$T$  - zabilježeno vrijeme potrebno traseru da dođe od jednog para elektroda do drugog [ $\text{s}$ ].



Slika 6.2.1. Primjerak bilježenja prolaska soli između uzvodnih i nizvodnih parova elektroda [35]

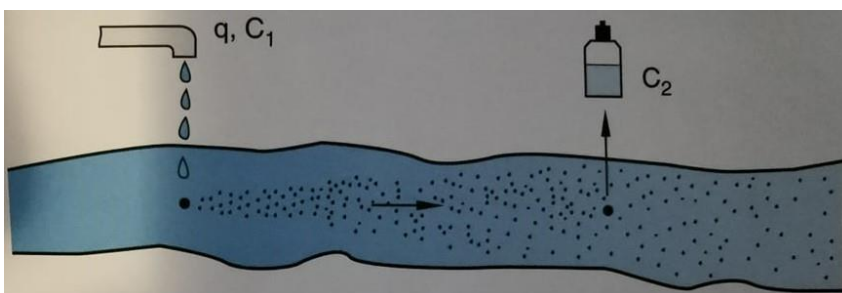
Kod metode razrjeđivanja (Slika 6.2.2.) nisu potrebna geometrijska mjerenja ili udaljenosti doseg traseru jer se ukupni protok mjeri izravno. Metoda razrjeđivanja se temelji na dodavanju traseru određene količine  $q$  čija je koncentracija  $C_1$ . Uzimanjem uzoraka i kemijskom analizom određuje se koncentracija ubačenog traseru na nekom nizvodnom položaju te se dobiva koncentracija  $C_2$ . Ukoliko se koristi sol kao traser, koncentraciju je moguće odrediti pomoću sonde za mjerenje elektroprovodljivosti [1].

Određivanje protoka ovom metodom omogućuje činjenica da je protok traseru s koncentracijom  $C_1$  koji se dodaje u vodotok na prvom položaju (uzvodnom) jednak protoku traseru na drugom položaju (nizvodnom), ali s manjom koncentracijom  $C_2$ . Omjer protoka  $Q$  i protoka traseru  $q$  jednak je omjeru koncentracije traseru u njima, stoga vrijedi [1]:

$$\frac{Q}{q} = \frac{C_1}{C_2} \quad (6-6)$$

Iz toga slijedi da se protok može odrediti pomoću mjerenja koncentracije  $C_2$  na nizvodnom položaju jer su veličine  $q$  i  $C_1$  poznate, pa vrijedi:

$$Q = q \cdot \left(\frac{C_1}{C_2}\right) [m^3/s] \quad (6-7)$$



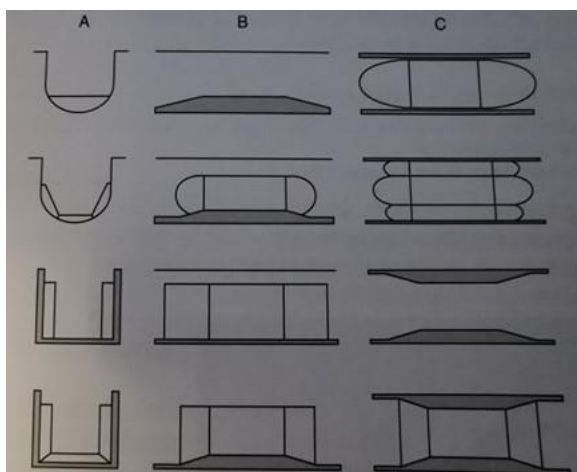
Slika 6.2.2. Metoda razrjeđivanja s konstantim injektiranjem [1]

Jedan od nedostataka metode razrjeđivanja je taj da zahtjeva specijaliziranu opremu i iskusno osoblje. Kao rezultat, to je relativno skupa metoda mjerenja protoka. Također moraju biti ispunjeni dobri kriteriji miješanja traseru s vodom. Neke od prednosti ovakve metode su: traseri su dostupni za svaku vrstu protoka, oprema je robustna i pouzdana, nema ometanja protoka, mjerenja je moguće isčitati u bilo koje vrijeme itd. [1, 35].



### 6.3. Mjerni objekti

Žlijebovi su suženja posebno oblikovane strukture, korišteni za mjerenje protoka u vodotocima. Postoji više oblika žlijebova (Slika 6.3.1.). Oni su statični, nemaju pokretnih dijelova te su simetrično postavljeni s osi kanala. Predstavljaju vezu između razine vode u žlijebu i brzine vode tako da smanjuju protok vode na različite načine. Svako suženje u principu stvara “Venturijev kanal”. Sve te vrste suženja uzrokuju da se voda “provuče” kroz žlijeb te mjerenjem ulazne razine i korištenjem određene formule može se odrediti protok [1].



Slika 6.3.1. Primjeri standardnih struktura žlijebova za vodotoke (A = bokocrt, B = nacrt, C = tlocrt) [1]

Postoje već određene standardizirane veličine od određenih proizvođača (Parshall (Slika 6.3.2.), Palmer Bowlus, Khafagi...) koji pružaju i jednačbe za svoje žlijebove, a općeniti oblik jednačbe za računanje protoka u žlijebovima je [1]:

$$Q = K \cdot b \cdot h^n \quad (6-8)$$

gdje je: Q - protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

K - koeficijent (ovisan o geometriji žlijeba, ulaznoj brzini i trenju),

b – širina suženja [m],

h – razina vode prije suženja (eksponent n obično je između 1.5 – 1.8) [m].



Slika 6.3.2. Primjerak žlijeba proizvođača Parshall [26]

Preljevi su idući najčešće korišteni mjerni objekti za vodotoke. Jedna od najjednostavnijih metoda mjerenja protoka. Preljevi se općenito sastoje od zida (prepreke) na vodotoku preko kojeg teče voda (za razliku od žlijebova gdje voda teče kroz njih). Kako voda teče preko zida i pada u nizvodni kanal, ona ubrzava. Kao i kod žlijebova, ovo ubrzanje daje vezu između razine i brzine vode. Ovisno o obliku preljeva koriste se dvije jednačbe [1]:

$$Q = K \cdot b \cdot h^{1.5} \text{ (kvadratni preljevi)} \quad (6-9)$$

$$Q = K \cdot b \cdot h^{2.5} \text{ (trokutasti preljevi)} \quad (6-10)$$

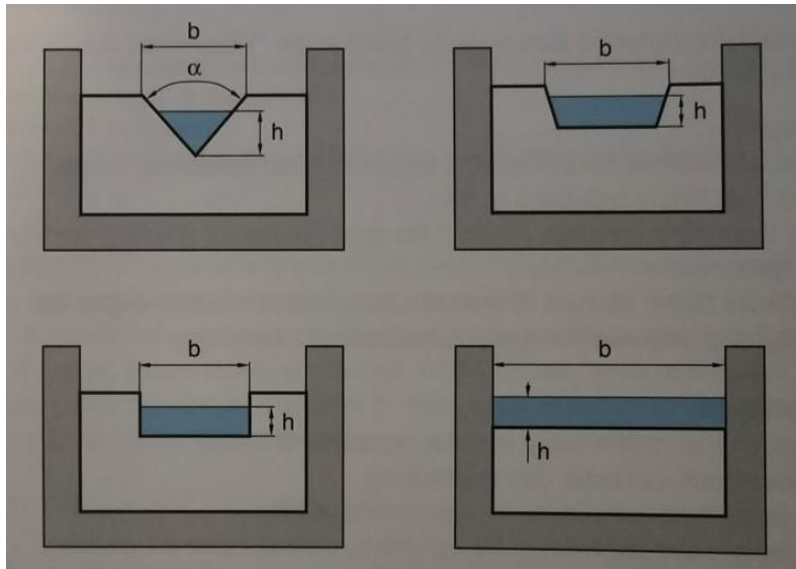
gdje je:  $Q$  – protok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$K$  – faktor pražnjenja (ovisi o omjeru širine mjernog dijela/širine kanala, glavi za pražnjenje/visina otvora i kut  $\alpha$  za trokutaste preljeve)

$b$  – širina mjernog dijela [m],

$h$  – glava za pražnjenje [m].

Mnogo oblika je razvijeno (Slika 6.3.3.), više nego za žlijebove. To omogućuje činjenica da preljevi mogu pokriti puno veće raspone protoka i raspon širina vodotoka. Za sporije brzine strujanja i uže vodotoke koristi se jednostavni trokutasti preljev, ali za većinu rijeka koriste se kvadratni preljevi jer su pouzdaniji [1].



Slika 6.3.3. Primjeri oblika preljeva ( $h$  = glava za pražnjenje,  $b$  = širina mjernog dijela,  $\alpha$  = kut otvora) [1]



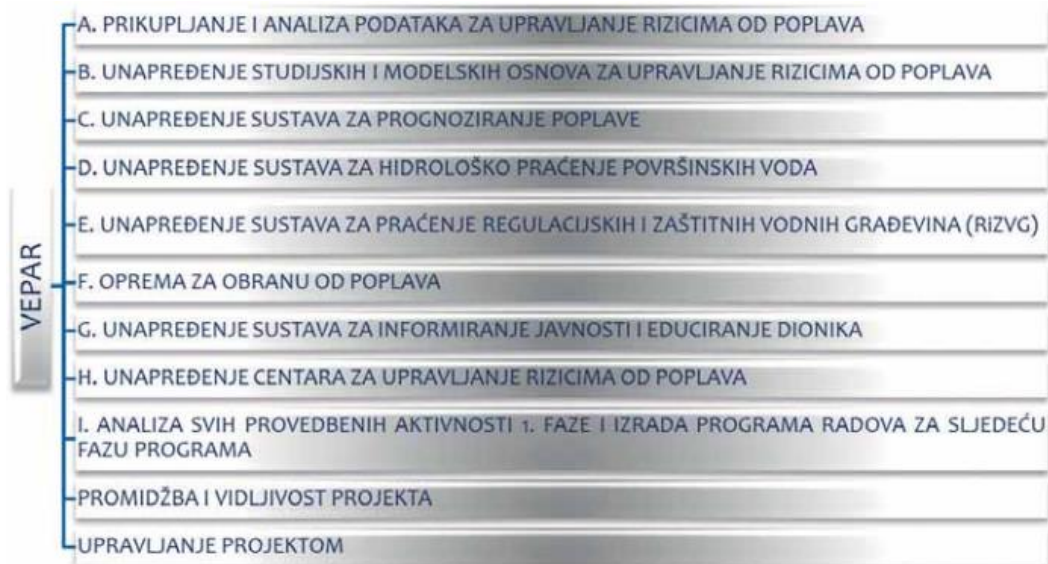
Slika 6.3.4. Trokutasti preljev na vodotoku [26]

## 7. MJERENJA I ANALIZE NA VODOTOCIMA U REPUBLICI HRVATSKOJ

Poplave su prirodni fenomeni koji su se događali u prošlosti i koji će se, nažalost, događati i ubuduće. U zadnjih desetak godina klimatske promjene su značajno utjecale na hrvatske vodotoke, što je rezultiralo do sad najvišim zabilježenim vodostajima gotovo na svim rijekama. Nakon velike poplave u Istočnoj Hrvatskoj 2014. godine, gdje su bila pogođena mjesta Gunja, Rajevo selo, Podgajci i okolica, nije bilo velikih poplava u Republici Hrvatskoj. Tada su padale izrazito velike količine kiša, ali to je stavka na koju ljudi ne mogu utjecati. Prosječni protok rijeke Save na mjernom mjestu u Županji do tada je iznosio 1000-1100 m<sup>3</sup>/s, a tih dana zabilježen je protok od 5500 m<sup>3</sup>/s. No stavka na koju ljudi mogu utjecati je mjerenje, analiziranje, praćenje i reagiranje na vrijeme za zaštitu od poplava. Tada je zakazao sustav mjerenja i analiza na vodotocima, a mogući uzroci su loša organizacija, zastarjelost opreme, nepravilno provođenje mjerenja te pogrešno prognoziranje [43].

Činjenica je da se u Hrvatskoj na nekim mjernim mjestima još uvijek koriste stariji instrumenti te manje pouzdane metode koje nisu dovoljno precizne za ovakve situacije. Iako se na nekim važnijim mjernim mjestima već koristi moderna tehnologija poput radarskih senzora razine i brzine vode, ADCP-evi i ostalo, potrebno je još puno novca uložiti u napredak mjerenja i analiza na vodotocima. Kako bi Republika Hrvatska napredovala u tom dijelu te kako se poplave poput one 2014. godine ne bi ponavljale, 2019. godine potpisan je ugovor za “Projekt unaprjeđenja negrađevinskih mjera upravljanja rizicima od poplava u RH” tzv. projekt VEPAR (Vodno i ekološko praćenje, analize i rješenja) [38].

Projekt VEPAR (Slika 7.1.) je vrijedan više od 250 milijuna kuna i cilj mu je uspostava sustava za prognozu poplava i alarmiranje na vrijeme, ali i unaprjeđenje mjernih podataka za slijevove, rijeke i zaštitne građevine. Uključuje modernizaciju mjernih instrumenata te nadogradnju mreže mjernih postaja, kao i nabavu sredstava za bolju obranu od poplava. Time se omogućuje da se pravodobno alarmira sustav te tako smanji rizik od poplave. U konačnici, cilj je zaštita ljudi i imovine od utjecaja poplave te je ovaj projekt jako važan za hrvatske vodotoke [39].



Slika 7.1. Potprojekti projekta VEPAR [38]

Kroz potprojekt A “Prikupljanje i analiza podataka za upravljanje rizicima od poplava” će se povećati preciznosti batimetrijskih karata određenih slivova te će se raditi na razvoju i korištenju simulacijskih matematičkih modela za zaštitu od poplava. Provesti će se batimetrijska snimanja slivova rijeke Save, Drave, Dunava i Jadranskog sliva [40].

Kroz potprojekt B “Unaprjeđenje studijskih i modelskih osnova za upravljanje rizicima od poplava” unaprijedit će se baza znanja u svrhu kvalitetnijeg planiranja građevinskih mjera, a prioritet je davanje prioriteta zelenoj infrastrukturi kada se radi o smanjenju rizika od poplava [40].

Kroz potprojekt C “Unaprjeđenje sustava za prognoziranje poplave” izvršiti će se nabava prognostičkih sustava na slivovima Save, Drave, Dunava te Jadranskim slivovima. Istraživanjem se pokazalo da se unaprjeđenjem prognostičkih sustava može smanjiti broj ljudskih žrtava i imovinskih šteta tako da upozorava na poplavu i preko 6 sati unaprijed [40].

Kroz potprojekt D “Unaprjeđenje sustava za hidrološko praćenje površinskih voda” nadograditi i modernizirati će se hidrološke mreže površinskih voda. Također će se unaprijediti informacijski sustav, što doprinosi sigurnosti stanovništva i države, gospodarskom razvoju i okolišu. Kroz ovaj potprojekt nabavit će se mjerna oprema za hidrološka mjerenja, obnovit će se postojeće hidrološke postaje i uspostaviti nove, nadograditi vodno-informacijski sustav tako da će se nabaviti softver za daljinska istraživanja u kartiranju i analize [40].

Kroz potprojekt E “Unapređenje sustava za praženje regulacijskih i zaštitnih vodnih građevina (RiZVG)” će se unaprijediti sustav koji kontrolira regulacijske i zaštitne vodne građevine (RiZVG). Tehnička praćenja i utvrđivanje stanja objekata daju mogućnost predviđanja prestanka funkcionalnosti objekata te sprječavanje istih (npr. puknuće nasipa). Također će se provesti projekt pod imenom “pametni nasip” koji omogućuje praćenje i analizu nasipa 24/7, u stvarnom vremenu, što je posebno bitno kada je izvanredno stanje ili provođenje izvanrednih mjera, jer je tada svaka minuta bitna [40].

Kroz potprojekt F “Oprema za obranu od poplava” osigurati će se geomembrane koje sprječavaju procjeđivanje nasipa, box barijere, protuprovalne barijere, čamci s motorom i pripadnom opremom, pumpe itd. [40].

Kroz potprojekt G “Unapređenje sustava za informiranje javnosti i educiranje dionika” će se izraditi program za educiranje i informiranje javnosti i dionika. Provesti će se kampanja informiranja izradom materijala za informiranje i edukaciju [40].

Kroz potprojekt H “Unapređenje centara za upravljanje rizicima od poplava” unaprijedit će se skladišni i smještajni kapaciteti na lokalnoj i regionalnoj razini, što je potrebno za izgradnju COURP-a (Centralni objekt za upravljanje rizicima od poplava), a to će osigurati i ispuniti standardne europske uvjete za funkcioniranje sustava za upravljanje rizicima od poplava [40].

Zaključno s potprojektom I “Analiza svih provedbenih aktivnosti 1. faze i izrada programa radova za sljedeću fazu programa“ će se analizirati rizici od poplava te učinci i doprinos do sad odrađenih potprojekata i planiranje za drugu fazu projekta VEPAR [40].

## 8. ZAKLJUČAK

Mjerenja i analize na vodotocima postali su vrlo značajni s obzirom na posljedice klimatskih promjena. Informacije dobivene kroz mjerenja i analize osim što omogućuju mjerne podatke pojedinih veličina, također su temelj za projektiranje i izgradnju hidrotehničkih objekata, nasipa, mostova itd. Stoga je potrebno da mjerni podaci budu vrlo točni i precizni. Mjerenje volumnog protoka je najvažnije, no da bi se izračunao, potrebno je izmjeriti druge veličine.

Volumni protok vodotoka se može mjeriti različitim metodama koje ovise o tehnološkim resursima, ljudskim resursima, veličini vodotoka, terenu i drugim parametrima. U današnje vrijeme su to uglavnom posredne metode jer neposredne metode imaju ograničenja koja ne mogu pružiti precizne i točne rezultate. Najčešće korištena metoda je brzina-površina metoda koja određuje protok mjerenjem površine poprečnog presjeka vodotoka i brzine strujanja vode duž cijele širine vodotoka.

Mjerenja i analize na vodotocima se provode u svrhu ekologije te zaštite od štetnog djelovanja vode. Kod velikih kiša, protok i vodostaj se mijenjaju iz minute u minutu, stoga je važno imati informacije u stvarnom vremenu da bi se moglo reagirati na vrijeme i poduzeti potrebne mjere. No ponekad i krivi odabir metode može dovesti do propusta koji rezultiraju lošom procjenom i analizom. Baš zbog štetnog djelovanja vode, potrebna je pouzdanost mjernih instrumenata i dostupnost. Većina današnjih mjernih instrumenata ima sustav prijenosa informacija na daljinu i pristup mjernim podacima u bilo koje vrijeme. Taj napredak u tehnologiji pruža sigurnost u zaštiti od štetnog djelovanja vode.

Metode i mjerni instrumenti su do danas jako napredovali, no uvijek ima prostora za napredak. Klimatske promjene se konstantno događaju, pa konstantno napreduju i metode mjerenja te mjerni instrumenti. S obzirom koliko je tema klimatskih promjena važna u cijelom svijetu te kako utječe na vodotoke, važno je provoditi mjerenja i analize na vodotocima te ih pravilno primjenjivati.

## LITERATURA

- [1] Endress+Hauser. *Flow Handbook*. 2006.
- [2] Prof. dr. sc. Ognjen Bonacci. *Hidrometrija predavanja – nastava*.
- [3] USGS. *Discharge Measurements at Gaging Stations*. 2010.
- [4] Tomislav Grubeša. *Prezentacija: Radar hydrological measurements - Best practice*.
- [5] Vodoprivredni projektni biro. *Prezentacija: River flow (discharge) measurement*. 2019.
- [6] Nikša Orlić. *Prezentacija: Turnkey solution for hydrological monitoring*.
- [7] Tehnička enciklopedija. *Hidrologija – Hidrometrija*. Dostupno na:
- [8] Hrvatsko hidrološko društvo. *Hidrologija*. Dostupno na: <http://hhd.hr/o-hidrologiji/>
- [9] Wika. *Hydrostatic level measurement*. Dostupno na:  
[https://en.wika.com/newscontentgeneric\\_ms.WIKA?AxID=463#:~:text=Hydrometry,rivers%2C%20underground%20or%20storage%20reservoirs](https://en.wika.com/newscontentgeneric_ms.WIKA?AxID=463#:~:text=Hydrometry,rivers%2C%20underground%20or%20storage%20reservoirs).
- [10] Encyclopedia of the Environment. *Hydrometry: measuring the flow rate of a river, why and how?* Dostupno na: <https://www.encyclopedia-environnement.org/en/water/hydrometry-measuring-flow-river-why-how/>
- [11] Valeport. *Hydrometry: Our Analysis Instruments range*. Dostupno na:  
<https://www.valeport.co.uk/applications/hydrometry/>
- [12] YSI. *Water Level Monitoring*. Dostupno na: <https://www.ysi.com/parameters/level>
- [13] DHMZ. *Vodostaji*. Dostupno na:  
<https://hidro.dhz.hr/hidroweb/pocetna/Vodostaj/Vodostaj.html>
- [14] Hidro Elektronik. *Limnigraf*. Dostupno na: <http://www.hidroel.com.tr/Basinc-Sensorlu-Elektronik-Limnigraf.asp>
- [15] YSI. *Nile Radar Sensor*. Dostupno na: <https://www.ysi.com/Nile>
- [16] YouTube. *Time-of-Flight measuring principle animation by Endress+Hauser*. Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=tvPRriWINIE>
- [17] USGS. *How Streamflow is Measured*. Dostupno na: [https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-streamflow-measured?qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/how-streamflow-measured?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects)



- [18] OTT HydroMet. *Water flow*. Dostupno na: <https://www.ott.com/products/water-flow-127/>
- [19] Abe Research. *Velocity Profile in Open Channel Flow*. Dostupno na: <http://abe-research.illinois.edu/courses/abe459/html/velocity%20profiles.pdf>
- [20] OTT HydroMet. *OTT SLD - Side Looking Doppler Sensor*. Dostupno na: <https://www.ott.com/products/water-flow-3/ott-sld-side-looking-doppler-sensor-970/>
- [21] National River Flow Archive. *How are Flows Measured?* Dostupno na: <https://nrfa.ceh.ac.uk/how-are-flows-measured>
- [22] US Environmental Protection Agency. *Stream Flow*. Dostupno na: <https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms51.html#:~:text=Flow%20is%20a%20function%20of,to%20dilute%20and%20degrade%20wastes.>
- [23] National Water Academy. *Measurement of River Discharge*. Dostupno na: [https://nwa.mah.nic.in/DL\\_modules/MRD/mrd.htm#INTRO](https://nwa.mah.nic.in/DL_modules/MRD/mrd.htm#INTRO)
- [24] Environmental Protection Agency. *Methods of measurement and recording river flows*. Dostupno na: <https://www.epa.ie/water/wm/hydrometrics/methods/>
- [25] Springer Link. *Velocity-area method*. Dostupno na: [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F1-4020-4513-1\\_228#:~:text=The%20velocity%E2%80%93area%20method%20for,the%20channel%20between%20observation%20verticals.&text=The%20discharge%20is%20derived%20from,depth%20and%20width%20between%20verticals.](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F1-4020-4513-1_228#:~:text=The%20velocity%E2%80%93area%20method%20for,the%20channel%20between%20observation%20verticals.&text=The%20discharge%20is%20derived%20from,depth%20and%20width%20between%20verticals.)
- [26] Green Home. *Monitoring ekološko prihvatljivog protoka na malim hidrocentralama*. Dostupno na: [http://www.greenhome.co.me/fajlovi/greenhome/attach\\_fajlovi/lat/glavne-stranice/2016/04/pdf/Monitoring\\_ekolosko\\_prihvatljivog\\_protoka\\_na\\_malim\\_hidrocentralama.pdf?fbclid=IwAR0buc82D8qHDgZwrD\\_5\\_FBMvEEP\\_uU23IMbBIqAVxYUq9p3ebH0xr66om4](http://www.greenhome.co.me/fajlovi/greenhome/attach_fajlovi/lat/glavne-stranice/2016/04/pdf/Monitoring_ekolosko_prihvatljivog_protoka_na_malim_hidrocentralama.pdf?fbclid=IwAR0buc82D8qHDgZwrD_5_FBMvEEP_uU23IMbBIqAVxYUq9p3ebH0xr66om4)
- [27] DHMZ. *Zašto i čime mjeriti protok*. Dostupno na: [https://hidro.dhz.hr/hidroweb/pocetna/Zastoprotok/Zastoprotok.html?fbclid=IwAR2I\\_s7mNgfVgnQfx-r3oTNRJpBZaz5LsJ5N6Ou5oLxCxJFdILxfyNcmw7w](https://hidro.dhz.hr/hidroweb/pocetna/Zastoprotok/Zastoprotok.html?fbclid=IwAR2I_s7mNgfVgnQfx-r3oTNRJpBZaz5LsJ5N6Ou5oLxCxJFdILxfyNcmw7w)

- [28] Open Channel Flow. *Methods of measuring flows in open channels*. Dostupno na: <https://www.openchannelflow.com/blog/methods-of-measuring-flows-in-open-channels>
- [29] Geosustavi: Navigation and Positioning. *Batimetrija*. Dostupno na: <http://geosustavi.com/batimetrija.html>
- [30] ECREEE. *Current meter streamflow measurement by wading*. Dostupno na: [http://www.ecowrex.org/sites/default/files/field\\_manual\\_current\\_meter\\_streamflow\\_measurement\\_by\\_wading.pdf](http://www.ecowrex.org/sites/default/files/field_manual_current_meter_streamflow_measurement_by_wading.pdf)
- [31] USBR. *Chapter 10 - Current meters*. Dostupno na: [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap10\\_02.html](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap10_02.html)
- [32] USGS. *Measuring Discharge with Acoustic Doppler Current Profilers from a Moving Boat*. Dostupno na: [https://pubs.usgs.gov/tm/3a22/pdf/tm3a22\\_lowres.pdf](https://pubs.usgs.gov/tm/3a22/pdf/tm3a22_lowres.pdf)
- [33] Geolux. *Non-contact hydrological measurements*. Dostupno na: <https://geolux.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/documents/Surface-Velocity-Measurement.pdf>
- [34] Woods Hole Oceanographic Institution. *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*. Dostupno na: <https://www.whoi.edu/what-we-do/explore/instruments/instruments-sensors-samplers/acoustic-doppler-current-profiler-adcp/>
- [35] USBR. *Tracer-Dilution Methods*. Dostupno na: [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap12\\_07.html](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap12_07.html)
- [36] USBR. *Discharge Equations for Tracer Methods*. Dostupno na: [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap12\\_04.html](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap12_04.html)
- [37] USBR. *Tracer-Velocity-Area Methods*. Dostupno na: [https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap12\\_06.html](https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/mands/wmm/chap12_06.html)
- [38] Hrvatske vode. *PROJEKT VEPAR – modernija, preciznija i sigurnija rješenja za smanjenje rizika od poplava*. Dostupno na: <https://www.voda.hr/hr/novosti/projekt-vepar-modernija-preciznija-sigurnija-rjesenja-za-smanjenje-rizika-od-poplava>
- [39] Energetika-net. *VEPAR smanjuje rizike od poplava*. Dostupno na: <http://www.energetika-net.com/vijesti/instalacije-termotehnika-i-voda/vepar-smanjuje-rizike-od-poplava-29130>

- [40] Hrvatska vodoprivreda. *Časopis broj 230: Voda i klimatske promjene*. Dostupno na:  
[https://www.voda.hr/sites/default/files/casopis/hr\\_vodoprivreda\\_230\\_scr.pdf](https://www.voda.hr/sites/default/files/casopis/hr_vodoprivreda_230_scr.pdf)
- [41] Eksperimentalna hidraulika. *Metode mjerenja i mjerna tehnika*. Dostupno na:  
[https://www.grad.unizg.hr/\\_download/repository/Skripta\\_2013/Skripta%202013/Eksperimentalna%20hidraulika%20\(4-www\)\\_Mjerna%20tehnika.pdf](https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Skripta_2013/Skripta%202013/Eksperimentalna%20hidraulika%20(4-www)_Mjerna%20tehnika.pdf)
- [42] Zoran Mandić. *Morsko tehničke konstrukcije*. Dostupno na:  
<https://bib.irb.hr/datoteka/715940.zmandic.pdf>
- [42] Jakša Belić. *Model sedimenta na dnu Prošćanskog jezera*. Dostupno na:  
<https://bib.irb.hr/datoteka/246320.jbelic.pdf>
- [43] Wikipedija. *Poplave u istočnoj Hrvatskoj u svibnju 2014*. Dostupno na:  
[https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplave\\_u\\_isto%C4%8Dnoj\\_Hrvatskoj\\_u\\_svibnju\\_2014](https://hr.wikipedia.org/wiki/Poplave_u_isto%C4%8Dnoj_Hrvatskoj_u_svibnju_2014).

## SAŽETAK

Valentin Matokanović

Zaštita samog vodotoka i zaštita ljudi od štetnog utjecaja vodotoka bila bi nemoguća bez analiza i mjerenja. Posebno bitna veličina koja se mjeri je volumni protok vode, ali potrebna su mjerenja ostalih veličina da bi se odredio volumni protok. Prema tome, na vodotocima se mjere još i razina vode, brzina strujanja vode, dubina itd.

Da bi se procijenio ukupni volumni protok vode, potrebno je provesti više različitih mjerenja. Vrlo je bitan odabir metode, jer se ne može svaka metoda i svaki mjerni instrument koristiti u svim slučajevima. Važno je dobiti što točnije i preciznije mjerne podatke. Ovaj završni rad opisuje svaku modernu metodu mjerenja određenih veličina, princip rada mjernih instrumenata te uvid u sadašnje i buduće stanje u Republici Hrvatskoj što se tiče analiza i mjerenja na vodotocima.

**KLJUČNE RIJEČI:** analize, metode, mjerenja, mjerni instrumenti

## **ŽIVOTOPIS**

Autor ovog završnog rada, Valentin Matokanović, rođen je 14.2.1998.g. u Novoj Gradiški, a stanuje u naselju Stara Gradiška. Osnovnu školu završava u područnoj školi “Stara Gradiška”. Upisuje srednju školu “Građevinsku Tehničku Školu” u Zagrebu gdje završava i dobiva zvanje građevinskog tehničara. Nakon srednje škole upisuje stručni studij “Automatika” na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. Kroz cijelo obrazovanje, stekao je napredno znanje u MS Office alatima, AutoCAD-u, MatLabu te raznim alatima za programiranje. Znanje engleskog jezika je vrlo dobro, dok je znanje njemačkog jezika vrlo nisko. Slobodno vrijeme provodi baveći se sportskim aktivnostima.